



## PPR SIMBAD: en quête d'une nouvelle méthodologie de représentation des échanges air-mer dans les modèles opérationnels globaux d'océan à haute-résolution

F. Lemarié<sup>1</sup>, G. Samson<sup>2</sup>, J.-L. Redelsperger<sup>3</sup>, G. Madec<sup>4</sup>, H. Giordani<sup>5</sup>,  
R. Bourdallé-Badie<sup>2</sup>, Y. Drillet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inria (Equipe Airsea), Laboratoire Jean Kuntzmann, Grenoble, France

<sup>2</sup> Mercator Océan, Toulouse, France

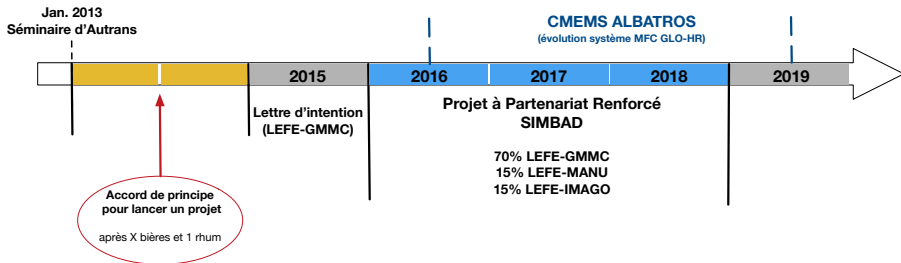
<sup>3</sup> Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale, Brest, France

<sup>4</sup> Sorbonne Universités-CNRS-IRD-MNHN, LOCEAN Laboratory, Paris, France

<sup>5</sup> Meteo-France, Toulouse, France

# Contexte général

Prospective de l'océanographie opérationnelle (Oct. 2013)



- Recommandation spécifique :

*Amélioration du couplage vent/vagues/courant, du couplage de la couche de mélange océanique avec la couche limite atmosphérique marine*

# Motivations en terme de physique des interactions air-mer

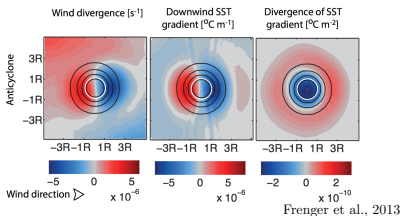
## Couplage vent-SST (thermal coupling)

1. Modulation de la turbulence de couche limite (e.g. [Chelton, 2013](#); [Frenger et al., 2013](#))

$$\begin{cases} \nabla \times \boldsymbol{\tau} &= c_1 \nabla \text{SST} \times \hat{\boldsymbol{\tau}} \\ \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} &= c_2 \nabla \text{SST} \cdot \hat{\boldsymbol{\tau}} \end{cases}$$

2. Ajustement du gradient de pression (e.g. [Minobe 2008](#); [Lambaerts et al. 2013](#))

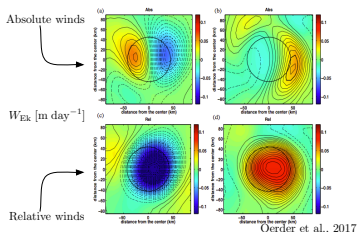
$$\nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \propto -\|\nabla^2 \text{SST}\|$$



## Couplage vent-courants (dynamical coupling)

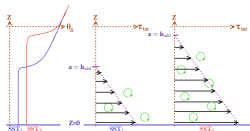
$$\boldsymbol{\tau} = \rho_a C_D \|\mathbf{u}_a - \mathbf{u}_o\| (\mathbf{u}_a - \mathbf{u}_o)$$

- Réduit fortement l'activité meso-échelle ("eddy damping") (e.g. [Renault et al., 2016](#))
- Augmente fortement les anomalies de vitesses verticales associées aux tourbillons (e.g. [Oerder et al., 2017](#))



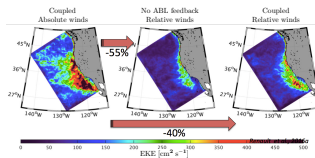
# Interactions air-mer à la meso-échelle océanique

- Activité importante de la communauté française sur ces sujets  
(e.g. ANR Pulsation, ASIV; LEFE NEMPECH; Expérience POMME; etc)



Modulation de la turbulence  
(*Downward mixing*)  
(Source: [Oerder, 2016](#))

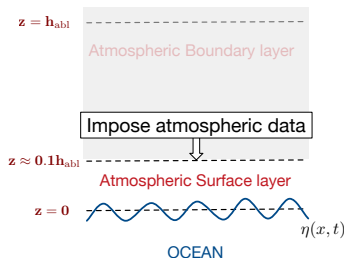
Couplage vents-courants  
(Source: [Renault et al., 2016](#))



- ▶ La bonne représentation de ces interactions nécessite une CLA interactive
- ▶ La résolution atmosphérique doit être "eddy-resolving" (i.e.  $\Delta x_{oce} \approx \Delta x_{atm}$ )
- ▶ CLA interactive nécessaire pour une intégration cohérente des vagues

## Objectif

Trouver une méthodologie alternative (entre forçage bulk et couplage complet) pour "forcer" un modèle opérationnel global "eddying"



**Approche proposée :** *downscaling* dynamique des données atmosphériques à la résolution océanique via un modèle de CLA simplifié (appelé SIMBAD) "guidé" par des prévisions ou des réanalyses (e.g. ERAi, IFS)

## Difficultés du couplage "complet"

- Coût de calcul lorsque  $\Delta x_{oce} \approx \Delta x_{atm}$
- Définir un "bon" jeu de paramétrisations
- Problèmes d'initialisation

# Différentes étapes du projet (1/3)

## 1. Définition d'une version simple-colonne (SIMBAD1d)

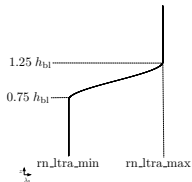
Intégration des vents  $\mathbf{u}$ , température potentielle  $\theta$  et humidité spécifique  $q$

$$\begin{cases} \partial_t \mathbf{u} &= f \mathbf{k} \times \mathbf{u} + \partial_z (\mathbf{K}_m \partial_z \mathbf{u}) - \left( \frac{1}{\rho} \nabla p \right)_{LS} \\ \partial_t \theta &= \partial_z (\mathbf{K}_s \partial_z \theta) + \lambda_s (S(\theta) - \theta_{LS}) \\ \partial_t q &= \partial_z (\mathbf{K}_s \partial_z q) + \lambda_s (S(q) - q_{LS}) \end{cases}$$

Termes bleus spécifiés par données grande échelle

Termes rouges donnés par les fermetures turbulentes

- ▷ **Forçage radiatif** conservé tel quel
- ▷ **Conditions de surface** pour  $K_m \partial_z \mathbf{u}|_{z=0}$ ,  $K_s \partial_z \theta|_{z=0}$ ,  $K_s \partial_z q|_{z=0}$  via formulation bulk "classique"
- ▷ **Temps de relaxation** dépend de la hauteur de CLA



## Différentes étapes du projet (2/3)

### 2. Schéma de fermeture turbulente : Schéma TKE de Cuxart et al. (2000)

- ▷ utilisé en opérationnel chez Météo-France (e.g. dans Arome, Meso-NH)
- ▷ recodé *from scratch* pour plus de flexibilité et de performance

### 3. Développement d'outils de preprocessing pour le forçage grande échelle

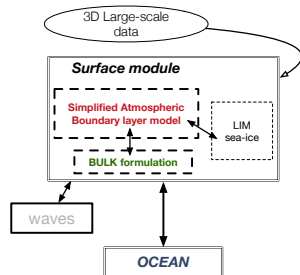
### 4. Implémentation dans le NEMO surface module

- Option pour intégrer NEMO & SAS sur  $\neq$  noeuds
- Mode *standalone*

### Coût de calcul (50 niveaux verticaux dans la CLA)

- + 12% en place mémoire
- + 7 - 12 % en elapsed time (en fonction des options)

	GLS	mode ext.	Simbad1d	I/O
Mode bulk	19.44%	11.3%	-	0.34%
Mode CLA	18.06%	10.5%	6.3%	0.64%



## Différentes étapes du projet (3/3)

### 5. Simbad 3d comme une correction fine échelle d'un AGCM

Contraintes : filtrage des ondes sonores & pas de solveurs globaux

#### Equations primitives hydrostatiques 2D "sèches"

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \frac{Du}{Dt} + c_p \theta \partial_x \pi & = & P_u \\ c_p \theta \partial_z \pi & = & -g \\ \partial_t \rho + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) & = & 0 \\ \frac{D\theta}{Dt} & = & P_\theta \\ \rho & = & \frac{p_0}{R\theta} \pi^{\frac{c_p - R}{R}} \end{array} \right.$$

#### Hypothèses

On définit un état de référence  $(\tilde{\pi}(x, y, z, t), \tilde{\rho}(x, y, z, t), \tilde{\theta}(x, y, z, t))$  en équilibre hydrostatique tel que  $|\delta\rho| \ll |\tilde{\rho}|$  (idem pour  $\pi$  et  $\theta$ ).

+ on néglige les effets de compressibilité pour les perturbations

(e.g. [Konor, 2013](#); [Durrán, 2008](#)).

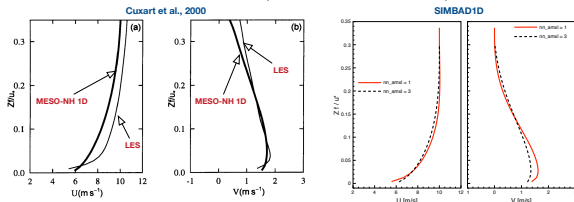
⇒ à vérifier que le système approché conserve bien une énergie



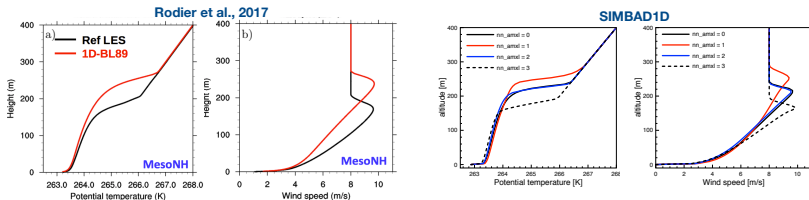
# Stratégie de validation (1/2)

## 1. Cas-tests standardisés de la communauté CLA (e.g. initiative GABLS)

→ Couche d'Ekman turbulente à 45°N (Cuxart et al., 2000)

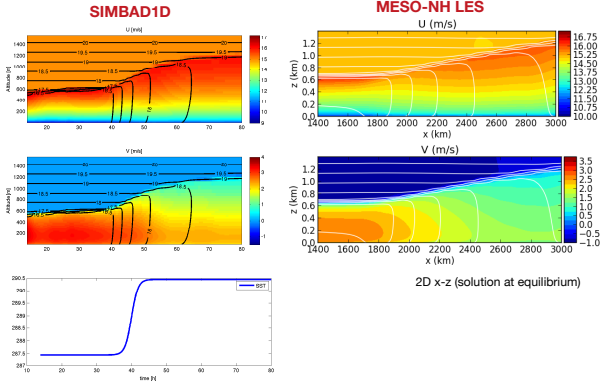


→ Couche limite stable (situation typique des zones glacées; GABLS1)



# Stratégie de validation (2/2)

## 2. Vents au dessus d'un front de SST (Kilpatrick et al., 2014)



## 3. Couplage NEMO1D / SIMBAD1D à la station PAPA ( $50.1^{\circ}\text{N}$ , $144.9^{\circ}\text{W}$ )

→ MSc de Théo Brivoal

- Conception de cas-test standardisés simple-colonne couplés (ANR COCOA)

## Travaux en cours

- **R. & D.**

- Accroissement de complexité → Simbad3d  
(ajout de termes d'advection et d'un gradient de pression fine échelle)
- Gestion des multi-surfaces
- Initialisation du syst. couplé NEMO/SIMBAD
  - LEFE CASIS (PI: A. Vidard, Inria)
  - Thèse R. Pellerej (approche variationnelle)
- XIOS pour la lecture

- **Stratégie de validation**

- Simulations globales *standalone* de Simbad1d rappelé vers ERAi & comparaison avec flux ERAi + sensibilité à la résolution des données océaniques
- Simulation réaliste en Atlantique Nors-Est ( $1/12^0$ ) & comparaison avec un couplé MESONH/NEMO (PhD T. Brivoal)